

# **Gestión técnica, documental y de impacto radiológico en los transportes de residuos radiactivos por carretera en España**

**José Antonio Calleja Rubio**<sup>1</sup>

**Fernando Gutiérrez Martín**<sup>2</sup>

**Cristóbal Colón Hernández**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Servicio de Prevención, Tecnatom, [jacalleja@tecnatom.es](mailto:jacalleja@tecnatom.es); Avenida Montes de Oca 1, 28703 San Sebastián de los Reyes (Madrid) teléfono 916598600.

Dpto. Ingeniería Eléctrica (EUITI), Universidad Politécnica de Madrid, [joseantonio.calleja@upm.es](mailto:joseantonio.calleja@upm.es)

<sup>2</sup> Dpto. Química Industrial y Polímeros (EUITI), Universidad Politécnica de Madrid, [fernando.gutierrez@upm.es](mailto:fernando.gutierrez@upm.es)

<sup>3</sup> Dpto. Física Aplicada (EUITI), Universidad Politécnica de Madrid, [cristobal.colon@upm.es](mailto:cristobal.colon@upm.es)

**Palabras clave:** residuos radiactivos, impacto radiológico, protección radiológica, detrimento de la salud.

## **1. Introducción**

Los procesos relacionados con el transporte de residuos radiactivos a su lugar de destino, residuos de media actividad (RMA) hacia El Cabril, o en un futuro los de alta actividad (RAA) hacia el almacén temporal centralizado (ATC) están de actualidad, por la movilidad presente y el creciente incremento que se espera en un futuro próximo, el compromiso adquirido de estas actividades con el medio ambiente, la seguridad y protección de las personas [1]; así como su regulación legal.

Cabe preguntarse: ¿Cómo se gestiona técnica y documentalmente este tipo de transportes? ¿Cuáles son las rutas más activas que se siguen? ¿Qué impacto radiológico se generará en el medio o en individuos tipo, los ocupantes de un vehículo particular o industrial, el público en general...?

## **2. Reglamentación para el transporte de residuos radiactivos por carretera**

El transporte de los residuos radiactivos, está regulado en España por una serie de documentos de aplicación internacional, basados en la norma de seguridad de la OIEA “Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos” TS-R-1 y acuerdo europeo para el transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR)[2]; en todos ellos la seguridad del transporte descansa fundamentalmente en el embalaje, estipulándose embalajes diferentes (Tipo A, Tipo B(U), B(M)) y se establecen los criterios para el diseño, aprobación por la autoridad competente, en concordancia tanto con la actividad como con la forma física de los materiales radiactivos que contengan. También se detallan las precauciones que se deben tomar en cuanto a rotulación y el etiquetado, así como los requisitos para los embalajes durante el tránsito.

El aseguramiento de la protección radiológica y la prevención de riesgos ambientales, se consigue con la aplicación de límites para la intensidad de radiación y contaminación en la superficie de los embalajes y en los vehículos, así como con la limitación de las actividades transportadas. Otro requisito fundamental es la formación de conductores, además de la supervisión y control por parte de los consejeros de seguridad [3].

### **3. Presentación del sector**

La metodología utilizada en la elaboración de este trabajo está basada en el método 'descriptivo-explicativo', que permite la observación y recogida de datos con enfoque de 'estudio de caso' [4, 5], y pretende describir sistemáticamente la logística para el transporte de residuos radiactivos por carretera así como el impacto radiológico asociado al mismo, mediante el uso de fuentes directas e indirectas; para las primeras, se ha contado con la colaboración de empresas del sector (centrales nucleares, empresa de transportes de material radiactivo, Enresa, etc.). Así mismo, se consultó a organismos oficiales relacionados con el asunto, para identificar las regulaciones en cuanto a los permisos y trámites para las expediciones por carretera.

### **4. Proceso operativo de los transportes.**

El proceso de expedición del transporte de material radiactivo por carretera se desarrolla en las siguientes fases:

Primero se determinan las características radiológicas de los residuos a transportar y en base a ello se clasifica con la numeración "UN" correspondiente. A continuación se procede a la determinación de los tipos de bultos, embalajes o envoltorios para confinar los materiales. Una vez determinado el tipo de bulto (embalaje más residuos) se realiza el control radiológico, medida de la intensidad de radiación en la superficie de cada bulto y a 1 metro. También se comprueba la contaminación transitoria en la superficie exterior de los bultos. A continuación, se procederá al marcado y etiquetado de los mismos.

Antes de la carga de los bultos en el vehículo, se realiza un control radiológico del vehículo y una vez cargado se determina la categoría de transporte, en función del nivel de radiación máximo en contacto con cualquier punto exterior del vehículo y de los niveles de radiación a un metro de este, y si se trata de material fisiónable se determina el índice de seguridad con respecto a la criticidad.

Los contenedores o plataformas de transporte llevarán las siguientes etiquetas en las placas de identificación del camión: Indicativo de material, en el caso de radiactivo "70". Cuatro cifras coincidentes con el número "UN" con el que están marcados los bultos "Tipo XXXX" y señal genérica modelo 7D. Además, cada embalaje o contenedor que contenga materias fisiónables, llevará etiquetas del modelo 7E.

Por último, se prepara la documentación del transporte: carta de porte, instrucciones para el transportista en caso de emergencia, documentación técnica y radiológica acreditativa de los materiales, certificaciones de los contenedores y hoja de impacto, esta última opcional.

### **5. Experiencias de contenedores para transporte de combustible gastado en España.**

Se han considerado varios procesos en el diseño y fabricación del contenedor de doble propósito (DTN) para almacenamiento y transporte por parte de la empresa propietaria ENSA, [6] para el cumplimiento de la seguridad estructural y protección contra las radiaciones ionizantes de las personas:

El diseño sencillo pero robusto utiliza materiales de muy alta calidad (acero inoxidable y plomo) muy probados en contenedores de almacenamiento y contenedores de transporte en uso en otros países, teniendo en cuenta los procesos más restrictivos para blindajes contra la radiación ionizante.

El contenedor se ha diseñado para el almacenamiento en seco del combustible irradiado en una atmósfera inerte, de esta forma se minimiza la posibilidad de producción de productos de corrosión.

El contenedor es altamente resistente a los efectos de fenómenos naturales severos o de accidentes así como los inducidos por actividades humanas, debido a su robustez estructural.

## **6. Transportes de combustible nuclear gastado en el mundo. Incidencias.**

Debido a que el combustible nuclear gastado es altamente radiactivo, y en consecuencia potencialmente peligroso, se tiene el concepto erróneo de que su transporte desde las centrales nucleares hasta las instalaciones de almacenamiento supondrá un grave riesgo para la población.

Es cierto que estos materiales son peligrosos en determinadas circunstancias, pero con la utilización de los embalajes y las prácticas de transporte adecuados, los riesgos asociados son eliminados o reducidos a los niveles mínimos.

Como referencia indicar que la cantidad total de combustible nuclear gastado transportado en el mundo desde la década de los 70 hasta 2001 se estima entre 73.000 y 98.000 t. dentro del ámbito civil. El número de embalajes que se han transportado, utilizando indistintamente tanto la carretera, como el ferrocarril o la vía marítima, puede llegar a la cifra de 43.000, sin que se haya producido ningún incidente con consecuencias radiológicas [7].

Dentro de la Unión Europea se realizan al año aproximadamente 700 transportes con combustible nuclear gastado, siendo Francia (con 450 transportes anuales) Alemania, Reino Unido y Bélgica, los países donde se desarrollan habitualmente estos transportes, tanto a nivel de tráfico interior como entre países.

Se conocen algunos sucesos que alcanzaron eco informativo, como el vuelco de un camión en Francia en 1987. La caída de un embalaje en el puerto de Cherburgo por rotura de una grúa en 1991, el descarrilamiento de un convoy con tres embalajes en 1997, en la frontera franco-alemana. Frente a esas cifras, conviene recordar que en el caso de España, los transportes al futuro ATC desplazarían una cantidad del orden de 6.700 t. de combustible nuclear gastado [8].

Todos estos sucesos, transcurridos sin consecuencias radiológicas, demuestran la idoneidad de los embalajes, de los procedimientos y de los sistemas de control empleados para el transporte del combustible nuclear gastado.

## **7. Efectos de las radiaciones ionizantes**

Las radiaciones ionizantes, i.e. también las emitidas en los transportes de residuos radiactivos producen ionización al atravesar los tejidos de organismos vivos. Dicha ionización perturba el comportamiento químico de los constituyentes de las células afectadas, algunas de las cuales pueden autorregenerarse mientras que otras resultan dañadas.

Las dosis recibidas por las personas deben alcanzar cierto valor para provocar lesiones agudas, pero no para causar otro tipo de efectos. Al mismo tiempo, la persona expuesta a una determinada dosis de radiación no está, ni mucho menos, destinada a padecer cáncer o lesiones genéticas, simplemente incurre en un riesgo mayor que otra no irradiada; el riesgo aumenta a medida que lo hace la dosis [9].

Es conveniente distinguir los términos daño y detrimento: el “daño” representa algún grado de cambio negativo, por ejemplo en las células, pero no apunta necesariamente a un efecto nocivo en el individuo expuesto; el “detrimento” es un concepto que combina la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial para la salud a dosis bajas y una valoración de la gravedad de dicho efecto.

Para poder realizar estimaciones de aplicación general, la Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda unos valores de riesgo, obtenidos con la población de distintos países y continentes [10]; “el promedio de dichos valores para probabilidad de muerte por cáncer es del 5% por cada *Sievert* en una población de todas las edades, siempre que se trate de dosis y tasas de dosis bajas”.

## **8. Impacto radiológico del transporte de residuos radiactivos en España**

El impacto negativo asociado a este tipo de transportes se refiere al medio ambiente, sobre todo a los organismos vivos expuestos, y en especial a la salud de las personas.

Se comienza fijando el número de transportes que se pretende realizar en un año y se definen las “rutas radiactivas” (entre las más importantes están los residuos de las siete centrales nucleares españolas con destino a el Cabril, para los residuos de media actividad [12] y de estas mismas, para los residuos de alta actividad al futuro Almacén Temporal Centralizado).

El impacto global previsible a causa de las radiaciones ionizantes en el medio ambiente, como suma del número de transportes por las horas de desplazamiento y por el nivel de radiación a un metro del transporte es de  $76,55 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  (Tabla 1).

Sin embargo, en la emisión de radiaciones ionizantes hay un proceso de atenuación en función de la distancia, es decir, a medida que nos alejamos del foco emisor el nivel de radiación decrece en una proporción inversa al cuadrado de la distancia. La dosis que puede recibir un individuo, conductor o pasajero de un vehículo cualquiera que coincide con el transporte de material radiactivo es de  $2,12 \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

El impacto sobre el “colectivo expuesto”, ubicado en las regiones de paso de este tipo de transportes (impacto nacional), aplicado a toda la población residente en las distintas provincias es de  $2,91\cdot 10^{-3} \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  [11].

La probabilidad de padecer enfermedad grave (cáncer), al recibir la radiación ionizante por el individuo mas expuesto es de  $4,89\cdot 10^{-7}$  y si consideramos el entorno nacional esta probabilidad es de  $1,52\cdot 10^{-10}$ .

Tabla 1 : Impacto radiológico anual asociados al transporte de residuos radiactivos por carretera.

IMPACTO RADIOLÓGICO ANUAL ASOCIADO AL TRANSPORTE DE RESIDUOS  
POR CARRETERA EN ESPAÑA  
(CICLO DEL COMBUSTIBLE)

RUTAS	Dosis Impacto Global (μSv. a <sup>-1</sup> )	Dosis individuo MAS expuesto (μSv. a <sup>-1</sup> )	Dosis al Público (impacto nacional) (μSv. a <sup>-1</sup> )	Detrimento de la salud (individuo MAS expuesto)	Detrimento de la salud (impacto nacional)
RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD AL ALMACÉN TEMPORAL CENTRALIZADO	34.550	0,76	1,92 E-03	2,58 E-07	9,86 E-11
RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD A EL CABRIL	42.005	1,36	9,81 E-04	2,31 E-07	5,40 E-11
GLOBAL	76.555	2,12	2,91 E-03	4,89 E-07	1,52 E-10

**Dosis impacto global:** Valor obtenido por aportación de todos los transportes realizados y en todas las rutas.  
**Dosis individuo “MAS” expuesto:** Consideramos que el conductor del vehículo particular o industrial trasiega por la ruta a la vez que se realiza el transporte de material radiactivo.  
**Dosis al público, impacto nacional:** Se tiene en cuenta la población de todas las edades del entorno nacional sometido a impacto.  
**Detrimento de la salud (muerte por cáncer):** el valor promedio para la probabilidad de muerte por cáncer es del 5% por cada Sievert en una población de todas las edades ó 5 E-08 por cada μSievert.

Aunque las unidades para caracterizar el impacto global se proponen en dosis equivalente (μSv), es más correcto referirlas a unidades de exposición o dosis absorbida (μGy), ya que esa dosis puede ser o no adquirida por los humanos (según si están o no en la zona de exposición) para emisión gamma la exposición es similar a la dosis adsorbida e igual a la dosis equivalente. Por tanto, como los valores de medida del nivel de radiación a un metro del trasporte (considerados de referencia para el estudio), se proponen en unidades de dosis equivalente, los obtenidos en el mismo los referiremos siempre a estas unidades.

## 9. Programa de cálculo de impacto radiológico

Como aportación final, proponemos una aplicación informática para el tratamiento de los datos estudiados y una hoja resumen “Impacto Radiológico Asociado al Transporte de Residuos radiactivos por Carretera en España”.

Pensamos que esta es quizá la parte más interesante del trabajo y que con ella se avanza en el estudio de estos impactos, pudiendo complementar la documentación legalmente estipulada para este tipo de transportes.

Así, sin más que introducir el nivel de radiación a un metro del transporte, teniendo en cuenta el tipo de residuos a transportar, de media o alta actividad y elegir la ruta, (fig. 2), que son datos que suministra el expedidor, obtendremos los impactos radiológicos asociados (fig. 3).

**IMPACTO RADIOLÓGICO ASOCIADO AL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO POR CARRETERA EN ESPAÑA**

INTRODUZCA EL NIVEL DE RADIACIÓN A 1 METRO DEL VEHÍCULO (uSv/h) **10**

SELECCIONE LA RUTA DESEADA

ALMARAZ-CABRIL	JUZBAGO-COFRENTES	COFRENTES-MADRID	COFRENTES-JUNQUERA
ASCO-CABRIL	JUZBAGO-ALMARAZ	ALMARAZ-MADRID	ALMARAZ-JUNQUERA
VANDELLOS-CABRIL	JUZBAGO-ASCO	ASCO-MADRID	TRILLO-JUNQUERA
COFRENTES-CABRIL	JUZBAGO-VANDELLOS	VANDELLOS-MADRID	ALMARAZ-TRILLO
GAROÑA-CABRIL	JUZBAGO-TRILLO	TRILLO-MADRID	COFRENTES-GAROÑA
TRILLO-CABRIL	JUZBAGO-GAROÑA	GAROÑA-MADRID	ASCO-VANDELLOS

**IMPACTO RADIOLÓGICO ASOCIADO AL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE NUCLEAR GASTADO POR CARRETERA EN ESPAÑA**

INTRODUZCA EL NIVEL DE RADIACIÓN A 1 METRO DEL VEHÍCULO (uSv/h) **90**

SELECCIONE LA RUTA DESEADA

JOSE CABRERA-ATC ASCO	JUNQUERTA-ATC ASCO
ALMARAZ-ATC ASCO	
ASCO-ATC ASCO	
VANDELLOS-ATC ASCO	
COFRENTES-ATC ASCO	
GAROÑA-ATC ASCO	
TRILLO-ATC ASCO	

Fig. 2: Página de introducción de datos



# IMPACTO RADIOLÓGICO ASOCIADO AL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE NUCLEAR GASTADO POR CARRETERA EN ESPAÑA

RUTA:	COFRENTES-ATC ASCO
TIEMPO EN RUTA:	7 Horas
POBLACIONES EXPUESTAS:	Valencia-Castellón_Tarragona
IMPACTO RADIOLÓGICO GLOBAL (uSv):	630
DOSIS INDIVIDUO MAS EXPUESTO (uSv):	2,75
DETRIMENTO DE SU SALUD:	1,38E-07
APORTACIÓN POBLAC. TRAYECTO (uSv):	8,91E-04
DOSIS APORTACIÓN NACIONAL (uSv):	1,79E-04
DETRIMENTO DE LA SALUD:	8,97E-12

## CONSIDERACIONES:

Los datos son reflejo de un trabajo de investigación (DOCTORADO) considerando los transportes a realizar en un año natural en España; en el estudio global se ha supuesto el proceso mas desfavorable.

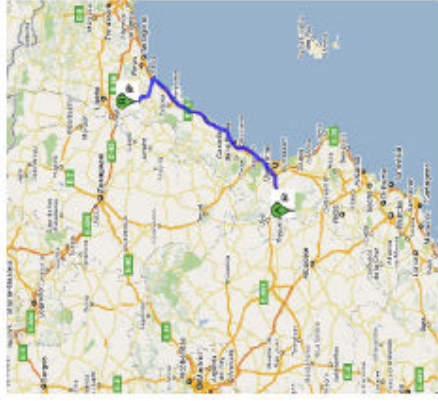


Fig. 3: Página de resultados

## 10. Conclusiones

Como primera conclusión, se demuestra que la emisión de radiaciones ionizantes prevista, en condiciones normales de los transportes de residuos radiactivos en España, no es significativa a la hora de generar efectos adversos en la salud, además, el impacto radiológico global anual es muy reducido y con una incidencia de efectos adversos para su salud despreciable.

En Segundo lugar, la seguridad en los transportes y principalmente los de residuos radiactivos de alta actividad, requiere satisfacer las funciones básicas de confinamiento de los productos radiactivos, blindaje de las radiaciones que emiten, subcriticidad para evitar posibles reacciones nucleares de fisión en cadena, y refrigeración del calor desprendido. El diseño de los embalajes busca satisfacer esas funciones frente a cualquier escenario plausible de accidentes durante el transporte. La normativa internacional exige la realización de pruebas muy exigentes para comprobar la idoneidad del diseño de los embalajes.

En tercer lugar, creemos que la parte más interesante del trabajo es el aprovechamiento y tratamiento de los datos recabados mediante una aplicación informática, permitiendo calcular el impacto radiológico asociado al transporte y así avanzar en el estudio de este tipo de impactos, con ello se complementa, si se considera conveniente por parte de expedidor, la documentación legal estipulada para este tipo de transportes.

## 11. Agradecimientos

Al personal de la organización de protección radiológica de las centrales nucleares.

## Referencias.

- [1] Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95) de 8 de diciembre. *Boletín Oficial del Estado* n° 269 de 10 de noviembre. Páginas 33408 – 33434.
- [2] Acuerdo Europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2009) *Boletín Oficial del Estado*, número 182 de 29 de julio de 2009, núm. 19, p. 33564.
- [3] Real Decreto 1566/1999, sobre los consejeros de seguridad para el transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable. *Boletín Oficial del Estado*, de 20 de octubre de 1999. p. 36825-36914.
- [4] YIN, R. *Case study research: Desing and métodos*. Sage Publishing. Beberly hills. 1994.
- [5] CHETTY, S. *The case Study Methord fot Research in Small and Médium – sized Firms*. International Small Business Journal. Vol 15. pp. 73 – 85.
- [6] [www.ensa.es](http://www.ensa.es)
- [7] National Research Council of the National Academies. *Going the distance? The safe transport of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste in the United States*. The National Academies Press, Washington D.C., 2006.
- [8] ENRESA. 6º Plan General de Residuos Radiactivos. (6º PGRR), Junio 2006.
- [9] ORTEGA X. y JORBA B. *Radiaciones Ionizantes*. Editorial Universidad Politécnica de Cataluña. 1988. p 56-65.
- [10] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1999 (ICRP) Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991). Traducción al español por la Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid (1995).
- [11] [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [12] CALLEJA, J. y GUTIERREZ, F. Impacto radiológico asociado al transporte de material radiactivo por carretera en España. Ponencia presentada en la 35º reunión anual de la Sociedad Nuclear Española, Sevilla, España. Publicación en la revista Radioprotección, enero de 2010.